

10/553909

JP20 Rec'd PCT/PTO 21 OCT 2005

P28678.P03

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Kenzi NISHIKAWA Mail Stop PCT
Appl. No: : Not Yet Assigned PCT Branch
I. A. Filed : April 22, 2004
(U.S. National Phase of PCT/ JP2004/005758)
For : OPTICAL CHARACTERISTIC MEASURING INSTRUMENT
AND METHOD, PROGRAM, AND RECORD MEDIUM ON WHICH
THE PROGRAM IS RECORDED

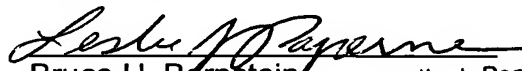
CLAIM OF PRIORITY

Commissioner for Patents
U.S. Patent and Trademark Office
Customer Service Window, Mail Stop PCT
Randolph Building
401 Dulany Street
Alexandria, VA 22314

Sir:

Applicant hereby claims the right of priority granted pursuant to 35 U.S.C. 119 and 365 based upon Japanese Application No. 2003-119861, filed April 24, 2003. The International Bureau already should have sent a certified copy of the Japanese application to the United States designated office. If the certified copy has not arrived, please contact the undersigned.

Respectfully submitted,
Kenzi NISHIKAWA


Bruce H. Bernstein Leslie J. Paperner
Reg. No. 29,027 Reg. No. 33,329

October 20, 2005
GREENBLUM & BERNSTEIN, P.L.C.
1950 Roland Clarke Place
Reston, VA 20191
(703) 716-1191

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

PCT/JP2004/005758

22. 4. 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2003年 4月24日

出 願 番 号
Application Number: 特願2003-119861
[ST. 10/C]: [JP.2003-119861]

REC'D 01 JUL 2004

WIPO

PCT

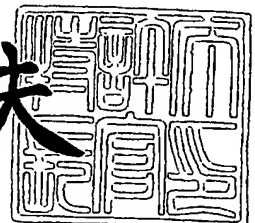
出 願 人
Applicant(s): 株式会社アドバンテスト

PRIORITY
DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 6月 2日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3047239

【書類名】 特許願

【整理番号】 10907

【提出日】 平成15年 4月24日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01M 11/02

【発明の名称】 光特性測定装置、方法、プログラムおよび該プログラム
を記録した記録媒体

【請求項の数】 8

【発明者】

【住所又は居所】 東京都練馬区旭町 1 丁目 3 2 番 1 号 株式会社アドバ
ンテスト内

【氏名】 西川 健司

【特許出願人】

【識別番号】 390005175

【氏名又は名称】 株式会社アドバンテスト

【代理人】

【識別番号】 100097490

【弁理士】

【氏名又は名称】 細田 益稔

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 082578

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0018593

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光特性測定装置、方法、プログラムおよび該プログラムを記録した記録媒体

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被測定物の光特性を測定する光特性測定装置であって、
前記被測定物から出射された光を受けて、p 偏光および s 偏光に分離して出力する偏波分離手段と、
入射光を生成する光生成手段と、
前記入射光を強度変調して出射する光変調手段と、
当該強度変調された入射光を、前記偏波分離手段における p 偏光軸および s 偏光軸にあわせて前記被測定物に入射する光入射手段と、
前記偏波分離手段の出力に基づき前記入射光の位相推移相当値および振幅相当値を計測する第一計測手段と、
前記被測定物から出射された光に基づき前記入射光の位相推移相当値を計測する第二計測手段と、
前記第一計測手段および前記第二計測手段の計測結果に基づき被測定物の光特性を測定する光特性測定手段と、
を備えた光特性測定装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の光特性測定装置であって、
前記光特性測定手段は、前記第一計測手段により計測された前記入射光の振幅相当値の p 偏光成分が s 偏光成分に対して過大あるいは過少である場合に、前記第二計測手段の計測結果を用いて前記被測定物の光特性を測定する、
光特性測定装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の光特性測定装置であって、
前記位相推移相当値は位相推移を光角周波数で微分したものである光特性測定装置。

【請求項 4】

請求項 1 または 2 に記載の光特性測定装置であって、
前記振幅相当値は振幅を二乗したものである光特性測定装置。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の光特性測定装置であって、
前記第二計測手段の計測結果に基づき前記被測定物の群遅延時間を測定する群遅延時間測定手段を備えた光特性測定装置。

【請求項 6】

被測定物の光特性を測定する光特性測定方法であって、
前記被測定物から出射された光を受けて、p 偏光および s 偏光に分離して出力する偏波分離工程と、
入射光を生成する光生成工程と、
前記入射光を強度変調して出射する光変調工程と、
当該強度変調された入射光を、前記偏波分離工程における p 偏光軸および s 偏光軸にあわせて前記被測定物に入射する光入射工程と、
前記偏波分離工程の出力に基づき前記入射光の位相推移相当値および振幅相当値を計測する第一計測工程と、
前記被測定物から出射された光に基づき前記入射光の位相推移相当値を計測する第二計測工程と、
前記第一計測工程および前記第二計測工程の計測結果に基づき被測定物の光特性を測定する光特性測定工程と、
を備えた光特性測定方法。

【請求項 7】

被測定物から出射された光を受けて、p 偏光および s 偏光に分離して出力する偏波分離手段と、入射光を生成する光生成手段と、前記入射光を強度変調して出射する光変調手段と、当該強度変調された入射光を、前記偏波分離手段における p 偏光軸および s 偏光軸にあわせて前記被測定物に入射する光入射手段とを有する光特性測定装置における光特性測定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、

前記偏波分離手段の出力に基づき前記入射光の位相推移相当値および振幅相当値を計測する第一計測処理と、

前記被測定物から出射された光に基づき前記入射光の位相推移相当値を計測する第二計測処理と、

前記第一計測処理および前記第二計測処理の計測結果に基づき被測定物の光特性を測定する光特性測定処理と、

をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項 8】

被測定物から出射された光を受けて、p 偏光および s 偏光に分離して出力する偏波分離手段と、入射光を生成する光生成手段と、前記入射光を強度変調して出射する光変調手段と、当該強度変調された入射光を、前記偏波分離手段における p 偏光軸および s 偏光軸にあわせて前記被測定物に入射する光入射手段とを有する光特性測定装置における光特性測定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータによって読み取り可能な記録媒体であって、

前記偏波分離手段の出力に基づき前記入射光の位相推移相当値および振幅相当値を計測する第一計測処理と、

前記被測定物から出射された光に基づき前記入射光の位相推移相当値を計測する第二計測処理と、

前記第一計測処理および前記第二計測処理の計測結果に基づき被測定物の光特性を測定する光特性測定処理と、

をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータによって読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信に用いられる光ファイバなど被測定物（DUT：Device Under Test）の光特性の測定に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

光ファイバの光特性を測定することは従来より行われている。例えば、特許文献1にも、光ファイバの偏波モード分散測定装置についての記載がある。図4を参照して、特許文献1に記載の光ファイバの偏波モード分散測定装置を説明する。

まず、被測定光ファイバ104の偏波モード分散 τ_{PMD} を式(1)のように定義する。

【0003】

【数1】

$$\tau_{\text{PMD}} = 2 \sqrt{\dot{\theta}^2 + \dot{\psi}_1^2 \cos^2 \theta + \dot{\psi}_2^2 \sin^2 \theta} \quad (1)$$

ただし、 θ は偏光角、 ψ_1 は光の進行方向に垂直な面内のある方向の位相推移、 ψ_2 は ψ_1 に直交する方向の位相推移である。ここで、被測定光ファイバ104の伝達関数行列 $[T]$ を式(2)のように定義する。

【0004】

【数2】

$$[T(\omega)] = \begin{bmatrix} |T_{11}| e^{-j\phi_{11}} & |T_{12}| e^{-j\phi_{12}} \\ |T_{21}| e^{-j\phi_{21}} & |T_{22}| e^{-j\phi_{22}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

ただし、 $|T_{ij}|$ は各行列要素の振幅、 ϕ_{ij} は各行列要素の位相推移であり、ともに光角周波数 ω の関数である。すると、式(1)のパラメータ θ 、 ψ_1 、 ψ_2 はそれぞれ式(3)、(4)、(5)のようにして求めることができる。

【0005】

$$\theta(\omega) = 0.5 \cos^{-1}(|T_{11}|^2 - |T_{21}|^2) \quad \dots (3)$$

$$\phi_1(\omega) = (\phi_{11} - \phi_{22})/2 \quad \dots (4)$$

$$\phi_2(\omega) = (\phi_{21} - \phi_{12} + \pi)/2 \quad \dots (5)$$

よって、被測定光ファイバ104の伝達関数行列[T]を求めることにより、被測定光ファイバ104の偏波モード分散 τ_{PMD} を求めることができる。

【0006】

被測定光ファイバ104の伝達関数行列[T]を求める方法を図4を参照して説明する。まず、制御部109は偏波コントローラ103の出力光を偏光ビームスプリッタ105のp方向に一致する直線偏波として被測定光ファイバ104へ入射させる。このときの被測定光ファイバ104の出力光は以下の式(6)により表わされる。

【0007】

【数3】

$$\begin{bmatrix} |T_{11}|e^{-j\phi_{11}} & |T_{12}|e^{-j\phi_{12}} \\ |T_{21}|e^{-j\phi_{21}} & |T_{22}|e^{-j\phi_{22}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |T_{11}|e^{-j\phi_{11}} (\text{p成分}) \\ |T_{21}|e^{-j\phi_{21}} (\text{s成分}) \end{bmatrix} \quad (6)$$

上記の出力光は偏光ビームスプリッタ105によりs偏光成分およびp偏光成分に分離されてO/E変換器106₁、106₂に入射されて

【0008】

【数4】

$$|T_{11}|e^{-j\phi_{11}}, |T_{21}|e^{-j\phi_{21}}$$

が測定される。

【0009】

上記の測定が終了すると、制御部109は偏波コントローラ103の出力光を90°回転させて偏光ビームスプリッタ105のs方向に一致する直線偏波として被測定光ファイバ104へ入射させる。このときの被測定光ファイバ104の出力光は以下の式(7)により表わされる。

【0010】

【数5】

$$\begin{bmatrix} |T_{11}|e^{-j\phi_{11}} & |T_{12}|e^{-j\phi_{12}} \\ |T_{21}|e^{-j\phi_{21}} & |T_{22}|e^{-j\phi_{22}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |T_{12}|e^{-j\phi_{12}}(\text{p成分}) \\ |T_{22}|e^{-j\phi_{22}}(\text{s成分}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

上記の出力光は偏光ビームスプリッタ105によりs偏光成分およびp偏光成分に分離されてO/E変換器106₁, 106₂に入射されて、

【0011】

【数6】

$$|T_{12}|e^{-j\phi_{12}}, |T_{22}|e^{-j\phi_{22}}$$

が測定される。

【0012】

ネットワークアナライザ107は上記のようにして測定された各パラメータと式(3)、(4)、(5)から、 θ , ϕ_1 , ϕ_2 を求める。なお、ネットワークア

ナライザ 107 は、増幅器 108 を介して光強度変調器 102 における強度変調比を制御している。

【0013】

この後、上記の測定が波長可変光源 101 の出力波長を掃引して行われ、各測定結果から $\theta(\omega)$, $\psi_1(\omega)$, $\psi_2(\omega)$ が求められる。そして、制御部 109 は式 (1) から偏波モード分散 τ_{PMD} を求める。

【0014】

【特許文献 1】

特開平 9-264814 号公報

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記のような方法では、被測定光ファイバ 104 の出力光が偏光ビームスプリッタ 105 により s 偏光成分および p 偏光成分に分離される際に、パワーが偏る場合がある。すなわち、偏光ビームスプリッタ 105 から出力された s 偏光成分および p 偏光成分の内的一方が他方よりも極めて大きくなる場合がある。極端な例としては、p 偏光成分だけが出力され、s 偏光成分が出力されないことすらある。

【0015】

このような場合、パワーが小さい方の成分の位相における S/N 比が悪化するため、位相の測定が不正確になる。よって、被測定光ファイバ 104 の群遅延時間および偏波モード分散の測定結果にもノイズが混入し、測定が不正確になる。

【0016】

そこで、本発明は、偏光成分の偏りによる光特性の測定への悪影響を防止した光特性の測定装置等を提供することを課題とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】

請求項 1 に記載の発明は、被測定物の光特性を測定する光特性測定装置であって、被測定物から出射された光を受けて、p 偏光および s 偏光に分離して出力する偏波分離手段と、入射光を生成する光生成手段と、入射光を強度変調して出射する光変調手段と、強度変調された入射光を、偏波分離手段における p 偏光軸お

よび s 偏光軸にあわせて被測定物に入射する光入射手段と、偏波分離手段の出力に基づき入射光の位相推移相当値および振幅相当値を計測する第一計測手段と、被測定物から出射された光に基づき入射光の位相推移相当値を計測する第二計測手段と、第一計測手段および第二計測手段の計測結果に基づき被測定物の光特性を測定する光特性測定手段とを備えるように構成される。

【0018】

上記のように構成された光特性測定装置によれば、第二計測手段は、被測定物から出射された光に基づき入射光の位相推移相当値を計測する。光特性測定手段は、第二計測手段の計測結果に基づき被測定物の光特性を測定する。よって、第一計測手段の振幅相当値において p 偏光軸あるいは s 偏光軸に偏りが見られたとしても、第二計測手段の計測結果に基づき被測定物の光特性の測定が行われるので、偏光成分の偏りによる光特性の測定への悪影響が防止できる。

【0019】

請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の発明であって、光特性測定手段は、第一計測手段により計測された入射光の振幅相当値の p 偏光成分が s 偏光成分に対して過大あるいは過少である場合に、第二計測手段の計測結果を用いて被測定物の光特性を測定するように構成される。

【0020】

請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 または 2 に記載の発明であって、位相推移相当値は位相推移を光角周波数で微分したものであるように構成される。

【0021】

請求項 4 に記載の発明は、請求項 1 または 2 に記載の発明であって、振幅相当値は振幅を二乗したものであるように構成される。

【0022】

請求項 5 に記載の発明は、請求項 3 に記載の発明であって、第二計測手段の計測結果に基づき被測定物の群遅延時間を測定する群遅延時間測定手段を備えるように構成される。

【0023】

請求項 6 に記載の発明は、被測定物の光特性を測定する光特性測定方法であっ

て、被測定物から出射された光を受けて、p 偏光および s 偏光に分離して出力する偏波分離工程と、入射光を生成する光生成工程と、入射光を強度変調して出射する光変調工程と、強度変調された入射光を、偏波分離工程における p 偏光軸および s 偏光軸にあわせて被測定物に入射する光入射工程と、偏波分離工程の出力に基づき入射光の位相推移相当値および振幅相当値を計測する第一計測工程と、被測定物から出射された光に基づき入射光の位相推移相当値を計測する第二計測工程と、第一計測工程および第二計測工程の計測結果に基づき被測定物の光特性を測定する光特性測定工程とを備えるように構成される。

【0024】

請求項 7 に記載の発明は、被測定物から出射された光を受けて、p 偏光および s 偏光に分離して出力する偏波分離手段と、入射光を生成する光生成手段と、入射光を強度変調して出射する光変調手段と、強度変調された入射光を、偏波分離手段における p 偏光軸および s 偏光軸にあわせて被測定物に入射する光入射手段とを有する光特性測定装置における光特性測定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、偏波分離手段の出力に基づき入射光の位相推移相当値および振幅相当値を計測する第一計測処理と、被測定物から出射された光に基づき入射光の位相推移相当値を計測する第二計測処理と、第一計測処理および第二計測処理の計測結果に基づき被測定物の光特性を測定する光特性測定処理とをコンピュータに実行させるためのプログラムである。

【0025】

請求項 8 に記載の発明は、被測定物から出射された光を受けて、p 偏光および s 偏光に分離して出力する偏波分離手段と、入射光を生成する光生成手段と、入射光を強度変調して出射する光変調手段と、強度変調された入射光を、偏波分離手段における p 偏光軸および s 偏光軸にあわせて被測定物に入射する光入射手段とを有する光特性測定装置における光特性測定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータによって読み取り可能な記録媒体であって、偏波分離手段の出力に基づき入射光の位相推移相当値および振幅相当値を計測する第一計測処理と、被測定物から出射された光に基づき入射光の位相推移相当値を計測する第二計測処理と、第一計測処理および第二計測処理の計測結果

に基づき被測定物の光特性を測定する光特性測定処理とをコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータによって読み取り可能な記録媒体である。

【0026】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0027】

図1は、本発明の実施形態にかかる光特性測定装置の構成を示すブロック図である。本発明の実施形態にかかる光特性測定装置は、被測定物（DUT: Device Under Test）である光ファイバ18の光特性を求めるためのものである。本発明の実施形態にかかる光特性測定装置は、波長可変光源（光生成手段）10、光変調器12、偏波コントローラ（光入射手段）14、偏波状態設定部16、光カップラ19、偏波分離器20、光電（O/E）変換器22p、s、光電（O/E）変換器23、第一計測部24、第二計測部25、光特性測定部26、群遅延時間測定部28を備える。

【0028】

波長可変光源10は、波長を変化させながら入射光を生成する。なお、光角周波数 $\omega = 2\pi f = 2\pi c / \lambda$ である。ただし、 c は光速、 λ は波長である。よって、波長 λ を変化させることは、光角周波数 ω を変化させることにつながる。

【0029】

光変調器12は、入射光の強度変調を行って偏波コントローラ14へ出射する。

【0030】

偏波コントローラ（光入射手段）14は入射光の偏波状態を偏波状態設定部16の制御を受けて制御する。

【0031】

偏波状態設定部16は、入射光の偏波状態を設定する。すなわち、入射光を偏波分離器20におけるp偏光軸およびs偏光軸（16a）にあわせる。すなわち、入射光をp偏光軸およびs偏光軸に一致する直線偏波とする。

【0032】

入射光を被測定物である光ファイバ18に入射すると、入射光が光ファイバ18を透過する。

【0033】

光カップラ19は、光ファイバ18を透過した光すなわち光ファイバ18から出射された光を受ける。そして、光ファイバ18から出射された光を分離して、偏波分離器20および光電 (O/E) 変換器23に出力する。

【0034】

偏波分離器20は、光ファイバ18を透過した光すなわち光ファイバ18から出射された光を受けて、p 偏光および s 偏光に分離して出力する。

【0035】

光電 (O/E) 変換器22 p は、偏波分離器20の出力の p 偏光成分を光電変換して第一計測部24に出力する。光電 (O/E) 変換器22 s は、偏波分離器20の出力の s 偏光成分を光電変換して第一計測部24に出力する。

【0036】

光電 (O/E) 変換器23は、光ファイバ18から出射された光を、光カップラ19を介して受け、光電変換し、第二計測部25に出力する。

【0037】

第一計測部24は、偏波分離器20の出力に基づき入射光の位相推移相当値および振幅相当値を計測する。位相推移相当値とは、位相推移に相当する値である。位相推移相当値は、位相推移そのものでもよいが、例えば、位相推移を光角周波数で微分した値（群遅延時間）が、位相推移相当値である。振幅相当値とは、振幅に相当する値である。振幅相当値は、振幅そのものでもよいが、例えば、振幅を二乗した値（パワー）が、振幅相当値である。

【0038】

第二計測部25は、光電 (O/E) 変換器23の出力に基づき、入射光の位相推移相当値および振幅相当値を計測する。すなわち、第二計測部25は、光ファイバ18から出射された光に基づき、入射光の位相推移相当値および振幅相当値を計測する。なお、入射光の振幅相当値は計測しなくてもよい。

【0039】

光特性測定部 26 は第一計測部 24 および第二計測部 25 の計測結果に基づき、光ファイバ 18 の光特性を求める。本実施形態では、光ファイバ 18 の伝達関数行列の成分中のパラメータ θ_{11} 、 θ_{21} 、 θ_{12} 、 θ_{22} を光角周波数 ω で微分した値であるところの群遅延時間 τ_{11} ($=d\theta_{11}/d\omega$)、 τ_{21} ($=d\theta_{21}/d\omega$)、 τ_{12} ($=d\theta_{12}/d\omega$)、 τ_{22} ($=d\theta_{22}/d\omega$) を、光特性測定部 26 は求める。ただし、光特性はこれらの量に限らず、波長分散、波長分散スロープ、偏波モード分散などでもよい。波長分散等は、 τ_{11} 、 τ_{21} 、 τ_{12} 、 τ_{22} に基づき求めることができる。

【0040】

群遅延時間測定部 28 は、第二計測部 25 の計測結果に基づき、光ファイバ 18 の群遅延時間 τ_g を求める。

【0041】

次に、本発明の実施形態にかかる光特性測定装置の動作を図 2 のフローチャートを参照しながら説明する。

【0042】

まず、入射光を偏波分離器 20 における p 偏光軸および s 偏光軸 (16a) にあわせ、位相推移相当値および振幅相当値を計測する (S10)。この計測の手順については図 3 のフローチャートを参照して説明する。

【0043】

まず、波長可変光源 10 の出力する光の光角周波数を ω とする (S12)。図 1 を参照して、波長可変光源 10 は、光角周波数 ω の入射光を出射する。入射光は、光変調器 12 により強度変調され、偏波コントローラ 14 へ出射される。ここで、偏波状態設定部 16 は、入射光を偏波分離器 20 における p 偏光軸にあわせる (S14a)。すなわち、入射光を p 偏光軸に一致する直線偏波とする。そして、入射光は光ファイバ 18 に入射される。

【0044】

光ファイバ 18 を透過した入射光は、光カップラ 19 を介して、偏波分離器 20 および光電 (O/E) 変換器 23 に与えられる。偏波分離器 20 に与えられた光は

、偏波分離器 20 により p 偏光および s 偏光に分離される。偏波分離器 20 が出力した p 偏光成分は光電 (O/E) 変換器 22 p により光電変換されて第一計測部 24 に出力される。偏波分離器 20 が出力した s 偏光成分は光電 (O/E) 変換器 22 s により光電変換されて第一計測部 24 に出力される。そして、第一計測部 24 により位相推移相当値 (群遅延時間) τ_{11} 、 τ_{21} および振幅相当値 (パワー) T_{11}^2 、 T_{21}^2 が計測される (S 14 b)。

【0045】

また、光電 (O/E) 変換器 23 に与えられた光は、光電 (O/E) 変換器 23 により光電変換されて第二計測部 25 に出力される。そして、第二計測部 25 により位相推移相当値 (群遅延時間) τ_{pg} および振幅相当値 (パワー) T_p^2 が計測される (S 14 b)。

【0046】

ここで、第一計測部 24 による位相推移相当値の求め方および振幅相当値の求め方 (S 14 b) を説明する。

【0047】

まず、光ファイバ 18 の伝達関数行列 $[T]$ を式 (10) のように定義する。

【0048】

【数 7】

$$[T] = \begin{bmatrix} T_{11} e^{-j\theta_{11}} & T_{12} e^{-j\theta_{12}} \\ T_{21} e^{-j\theta_{21}} & T_{22} e^{-j\theta_{22}} \end{bmatrix} \quad (10)$$

ただし、伝達関数行列 $[T]$ の各要素は以下の式 (11) の通りである。

【0049】

【数 8】

$$\begin{aligned}
 T_{11} e^{-j\theta_{11}} &= U \cos \Theta e^{-j(\Phi_1 + \phi + \psi)} \\
 T_{12} e^{-j\theta_{12}} &= -U \sin \Theta e^{-j(\Phi_1 + \phi - \psi)} \\
 T_{21} e^{-j\theta_{21}} &= U \sin \Theta e^{-j(\Phi_1 - \phi + \psi)} \\
 T_{22} e^{-j\theta_{22}} &= U \cos \Theta e^{-j(\Phi_1 - \phi - \psi)}
 \end{aligned} \tag{11}$$

ただし、 $\phi(\omega)$ は直交する 2 つの成分 $\phi_1(\omega)$ 、 $\phi_2(\omega)$ の位相推移の差成分であり、 $\psi(\omega)$ は直交する 2 つの成分 $\phi_1(\omega)$ 、 $\phi_2(\omega)$ の位相推移の同相成分である。なお、 $\phi_1(\omega)$ は光の進行方向に垂直な面内のある方向の位相推移、 $\phi_2(\omega)$ は ϕ_1 に直交する方向の位相推移である。具体的には、 $\phi(\omega) = (\phi_1(\omega) - \phi_2(\omega)) / 2$ 、 $\psi(\omega) = (\phi_1(\omega) + \phi_2(\omega)) / 2$ である。また、 $\Theta(\omega)$ は、光ファイバ 18 から出射される光の偏光角である。

【0050】

ここで、入射光を偏波分離器 20 における p 偏光軸にあわせてある。よって、偏波分離器 20 の出力は、以下の式 (12) のようになる。

【0051】

【数 9】

$$\begin{bmatrix} T_{11} e^{-j\theta_{11}} & T_{12} e^{-j\theta_{12}} \\ T_{21} e^{-j\theta_{21}} & T_{22} e^{-j\theta_{22}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} e^{-j\theta_{11}} \\ T_{21} e^{-j\theta_{21}} \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{p成分} \\ \text{s成分} \end{matrix} \tag{12}$$

第一計測部 24 には、光電 (O/E) 変換器 22 p を介して、 $T_{11} e^{-j\theta_{11}}$ の光が入射される。しかも、第一計測部 24 には、光電 (O/E) 変換器 22 s を介して、 $T_{21} e^{-j\theta_{21}}$ の光が入射される。よって、第一計測部 24 は、 $T_{11} e^{-j\theta_{11}}$ およ

び $T_{21}e^{-j\theta_{21}}$ の位相推移 θ_{11} 、 θ_{21} に相当する値、例えば位相推移 θ_{11} 、 θ_{21} を光角周波数 ω で微分した値であるところの群遅延時間 τ_{11} ($=d\theta_{11}/d\omega$)、 τ_{21} ($=d\theta_{21}/d\omega$)、ならびに振幅 T_{11} 、 T_{21} に相当する値、例えば振幅を二乗した値 (パワー) T_{11}^2 、 T_{21}^2 、を計測できる。すなわち、第一計測部 24 は、光ファイバ 18 の伝達関数行列の第一列の位相推移相当値および振幅相当値を計測できる。

【0052】

次に、偏波状態設定部 16 は、入射光を偏波分離器 20 における s 偏光軸にあわせる (S16a)。すなわち、入射光を s 偏光軸に一致する直線偏波とする。そして、入射光は光ファイバ 18 に入射される。

【0053】

光ファイバ 18 を透過した合成入射光は、偏波分離器 20 により p 偏光および s 偏光に分離される。偏波分離器 20 が出力した p 偏光成分は光電 (O/E) 変換器 22p により光電変換されて計測部 24 に出力される。偏波分離器 20 が出力した s 偏光成分は光電 (O/E) 変換器 22s により光電変換されて計測部 24 に出力される。そして、計測部 24 により位相推移相当値 (群遅延時間) τ_{12} 、 τ_{22} および振幅相当値 (パワー) T_{12}^2 、 T_{22}^2 が計測される (S16b)。

【0054】

また、光電 (O/E) 変換器 23 に与えられた光は、光電 (O/E) 変換器 23 により光電変換されて第二計測部 25 に出力される。そして、第二計測部 25 により位相推移相当値 (群遅延時間) τ_{sg} および振幅相当値 (パワー) T_s^2 が計測される (S16b)。

【0055】

ここで、第一計測部 24 による位相推移相当値の求め方および振幅相当値の求め方 (S16b) を説明する。入射光を偏波分離器 20 における s 偏光軸にあわせてある。よって、偏波分離器 20 の出力は、以下の式 (13) のようになる。

【0056】

【数 10】

$$\begin{bmatrix} T_{11} e^{-j\theta_{11}} & T_{12} e^{-j\theta_{12}} \\ T_{21} e^{-j\theta_{21}} & T_{22} e^{-j\theta_{22}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{12} e^{-j\theta_{12}} \\ T_{22} e^{-j\theta_{22}} \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{p成分} \\ \text{s成分} \end{matrix} \quad (13)$$

第一計測部 24 には、光電 (O/E) 変換器 22 p を介して、 $T_{12}e^{-j\theta_{12}}$ の光が入射される。しかも、第一計測部 24 には、光電 (O/E) 変換器 22 s を介して、 $T_{22}e^{-j\theta_{22}}$ の光が入射される。よって、第一計測部 24 は、 $T_{12}e^{-j\theta_{12}}$ および $T_{22}e^{-j\theta_{22}}$ の位相推移 θ_{12} 、 θ_{22} に相当する値、例えば位相推移 θ_{12} 、 θ_{22} を光角周波数 ω で微分した値であるところの群遅延時間 $\tau_{12} (=d\theta_{12}/d\omega)$ 、 $\tau_{22} (=d\theta_{22}/d\omega)$ 、ならびに振幅 T_{12} 、 T_{22} に相当する値、例えば振幅を二乗した値 (パワー) T_{12}^2 、 T_{22}^2 、を計測できる。すなわち、第一計測部 24 は、光ファイバ 18 の伝達関数行列の第二列の位相推移相当値および振幅相当値を計測できる。

【0057】

そして、光角周波数が上限に達したか否かを判定し (S17)、上限に達していなければ (S17、No)、光角周波数を $\Delta\omega$ 増やし (S18)、入射光を偏波分離器 20 における p 偏光軸にあわせる工程 (S14a) に戻る。光角周波数が上限に達したならば (S17、Yes)、入射光を偏波分離器 20 における p 偏光軸および s 偏光軸 (16a) にあわせたときの位相推移相当値および振幅相当値の計測 (S10: 図 2 参照) が終了する。

【0058】

ここで、図 2 に戻り、光特性測定部 26 は、入射光を p 偏光軸に一致する直線偏波とした時 (P 波入力時) に計測されたパワー T_{11}^2 、 T_{21}^2 を受け、偏りが有るか否かを判定する (S22)。すなわち、 $T_{11}^2 \gg T_{21}^2$ (T_{11}^2 が T_{21}^2 よりも大き過ぎる) あるいは $T_{11}^2 \ll T_{21}^2$ (T_{11}^2 が T_{21}^2 よりも小さ過ぎる) であれば偏りが有る

と判定し、さもなければ偏りが無いと判定する。例えば、上限のしきい値を設定しておき、 T_{11}^2/T_{21}^2 が上限のしきい値を超えたときには過大とする。また、例えば、下限のしきい値を設定しておき、 T_{11}^2/T_{21}^2 が下限のしきい値未満となったときには過少とする。

【0059】

P波入力時に計測されたパワー T_{11}^2 、 T_{21}^2 に偏りが有れば（S22、Yes）、光特性測定部26は、 τ_{pg} を用いて τ_{21} あるいは τ_{11} を求める（S24）。

【0060】

ここで、第一計測部24の計測結果 T_{11}^2 、 T_{21}^2 、 τ_{11} 、 τ_{21} と、第二計測部25の計測結果 T_p^2 、 τ_{pg} とは以下に示すような関係がある。なお、証明については後述する。また、 $\theta' = \tau$ である。

【0061】

【数11】

$$T_p^2 = T_{11}^2 + T_{21}^2 \quad (14)$$

$$\tau_{pg} = \frac{T_{11}^2 \theta_{11}' + T_{21}^2 \theta_{21}'}{T_{11}^2 + T_{21}^2} \quad (15)$$

$T_{11}^2 \gg T_{21}^2$ の場合は、第一計測部24の計測結果である τ_{21} のS/N比が低くなる。そこで、式(15)を用いて、 T_{11}^2 、 T_{21}^2 、 τ_{11} 、 τ_{pg} から τ_{21} を計算する。 $T_{11}^2 \gg T_{21}^2$ の場合は、第一計測部24の計測結果である τ_{11} および第二計測部25の計測結果である τ_{pg} のS/N比が高い。よって、式(15)を用いて τ_{21} を計算すれば、 τ_{21} のS/N比が高くなる。

【0062】

$T_{11}^2 \ll T_{21}^2$ の場合は、第一計測部24の計測結果である τ_{11} のS/N比が低くなる。そこで、式(15)を用いて、 T_{11}^2 、 T_{21}^2 、 τ_{21} 、 τ_{pg} から τ_{11} を計算する。 $T_{11}^2 \ll T_{21}^2$ の場合は、第一計測部24の計測結果である τ_{21} および第二計測部25の計測結果である τ_{pg} のS/N比が高い。よって、式(15)を用いて

τ_{11} を計算すれば、 τ_{11} のS/N比が高くなる。

【0063】

τ_{pg} を用いての τ_{21} あるいは τ_{11} の演算(S24)の後、あるいは、P波入力時に計測されたパワー T_{11}^2 、 T_{21}^2 に偏りが無い場合(S22、No)は、光特性測定部26は、入射光をs偏光軸に一致する直線偏波とした時(S波入力時)に計測されたパワー T_{12}^2 、 T_{22}^2 を受け、偏りが有るか否かを判定する(S32)。すなわち、 $T_{12}^2 \gg T_{22}^2$ (T_{12}^2 が T_{22}^2 よりも大き過ぎる)あるいは $T_{12}^2 \ll T_{22}^2$ (T_{12}^2 が T_{22}^2 よりも小さ過ぎる)であれば偏りが有ると判定し、さもなければ偏りが無いと判定する。例えば、上限のしきい値を設定しておき、 T_{12}^2/T_{22}^2 が上限のしきい値を超えたときには過大とする。また、例えば、下限のしきい値を設定しておき、 T_{12}^2/T_{22}^2 が下限のしきい値未満となったときには過少とする。

【0064】

S波入力時に計測されたパワー T_{12}^2 、 T_{22}^2 に偏りが有れば(S32、Yes)、光特性測定部26は、 τ_{sg} を用いて τ_{22} あるいは τ_{12} を求める(S34)。

【0065】

ここで、第一計測部24の計測結果 T_{12}^2 、 T_{22}^2 、 τ_{22} 、 τ_{12} と、第二計測部25の計測結果 T_{s2} 、 τ_{sg} とは以下に示すような関係がある。なお、証明については後述する。また、 $\theta' = \tau$ である。

【0066】

【数12】

$$T_s^2 = T_{12}^2 + T_{22}^2 \quad (16)$$

$$\tau_{sg} = \frac{T_{12}^2 \theta_{12}' + T_{22}^2 \theta_{22}'}{T_{21}^2 + T_{22}^2} \quad (17)$$

$T_{12}^2 \gg T_{22}^2$ の場合は、第一計測部24の計測結果である τ_{22} のS/N比が低くなる。そこで、式(17)を用いて、 T_{12}^2 、 T_{22}^2 、 τ_{12} 、 τ_{sg} から τ_{22} を計算する。 $T_{12}^2 \gg T_{22}^2$ の場合は、第一計測部24の計測結果である τ_{12} および第二計測部25の計測結果である τ_{sg} のS/N比が高い。よって、式(17)を用いて

τ_{22} を計算すれば、 τ_{22} のS/N比が高くなる。

【0067】

$T_{12}^2 \ll T_{22}^2$ の場合は、第一計測部24の計測結果である τ_{12} のS/N比が低くなる。そこで、式(17)を用いて、 T_{12}^2 、 T_{22}^2 、 τ_{22} 、 τ_{sg} から τ_{12} を計算する。 $T_{12}^2 \ll T_{22}^2$ の場合は、第一計測部24の計測結果である τ_{22} および第二計測部25の計測結果である τ_{sg} のS/N比が高い。よって、式(17)を用いて τ_{12} を計算すれば、 τ_{12} のS/N比が高くなる。

【0068】

τ_{sg} を用いての τ_{22} あるいは τ_{12} の演算(S34)の後、あるいは、S波入力時に計測されたパワー T_{12}^2 、 T_{22}^2 に偏りが無い場合(S32、No)は、群遅延時間 τ_g の測定(S42)に進む。

【0069】

すなわち、群遅延時間測定部28は、第二計測部25の計測結果 τ_{pg} および τ_{sg} に基づき、光ファイバ18の群遅延時間 τ_g を求める(S42)。光ファイバ18の群遅延時間 $\tau_g = (\tau_{pg} + \tau_{sg}) / 2$ である。

【0070】

本発明の実施形態によれば、第二計測部25は、光ファイバ18から出射された光に基づき入射光の位相推移相当値(群遅延時間 τ_{pg} 、 τ_{sg})を計測する。第一計測部24の計測結果である振幅相当値(パワー)においてp偏光軸あるいはs偏光軸に偏りが見られた場合(T_{11}^2 が T_{21}^2 よりも小さ過ぎる(大き過ぎる)、 T_{12}^2 が T_{22}^2 よりも小さ過ぎる(大き過ぎる))、光特性測定部26は、第二計測部25の計測結果(群遅延時間 τ_{pg} 、 τ_{sg})に基づき被測定物の光特性(群遅延時間 τ_{11} 、 τ_{21} 、 τ_{12} 、 τ_{22})を測定する。

【0071】

よって、第一計測部24の振幅相当値(パワー)においてp偏光軸あるいはs偏光軸に偏りが見られたとしても、第二計測部25の計測結果(パワーのp偏光軸あるいはs偏光軸への偏りの影響を受けない)に基づき光ファイバ18の光特性の測定が行われるので、偏光成分の偏りによる光特性の測定への悪影響が防止できる。

【0072】

なお、光特性の一例として群遅延時間 τ_{11} 、 τ_{21} 、 τ_{12} 、 τ_{22} を挙げたが、この測定を精度良く行うことにより、光特性のさらなる一例である波長分散、波長分散スロープ、偏波モード分散などを精度良く求めることも可能である。これらは、群遅延時間 τ_{11} 、 τ_{21} 、 τ_{12} 、 τ_{22} に基づき求められるからである。

【0073】

さらに、群遅延時間測定部 28 により、光ファイバ 18 の群遅延時間の測定値の S/N 比を良くすることができる。

【0074】

また、上記の実施形態は、以下のようにして実現できる。CPU、ハードディスク、メディア（フロッピーディスク、CD-ROM など）読み取り装置を備えたコンピュータのメディア読み取り装置に、上記の各部分、例えば第一計測部 24、第二計測部 25、光特性測定部 26、群遅延時間測定部 28 を実現するプログラムを記録したメディアを読み取らせて、ハードディスクにインストールする。このような方法でも、上記の機能を実現できる。

【0075】

[第一計測部 24 の計測結果 T_{12}^2 、 T_{22}^2 、 τ_{22} 、 τ_{12} と、第二計測部 25 の計測結果 T_{s2} 、 τ_{sg} との関係 (式 14 ~ 17) の証明]

入力光は任意の偏波状態を考える。このとき、DUT への入射面に対して垂直方向の 2 軸を x 軸、y 軸とし、入射光の x 軸成分の振幅を E_p 、y 軸成分の振幅を $E_s e^{j\theta_k}$ とする。DUT から出射する光の x 軸、y 軸成分（それぞれ E_{pout} 、 E_{sout} とする）は伝達関数行列を用いて次のようになる。

【0076】

【数 13】

$$\begin{bmatrix} E_{pout} \\ E_{sout} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} e^{j\theta_{11}} & T_{12} e^{j\theta_{12}} \\ T_{21} e^{j\theta_{21}} & T_{22} e^{j\theta_{22}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_p \\ E_s e^{j\theta_k} \end{bmatrix} \quad (31)$$

伝達関数行列より、出射光の複素振幅 E_{out} は次式のようなになる。

【0077】

【数14】

$$\begin{aligned}
 E_{out} &= T e^{j\theta} = E_{pout} \mathbf{i}_x + E_{sout} \mathbf{i}_y \\
 &= \{T_{11} e^{j\theta_{11}} E_p + T_{12} e^{j(\theta_{12} + \theta_\Delta)} E_s\} \mathbf{i}_x + \{T_{21} e^{j\theta_{21}} E_p + T_{22} e^{j(\theta_{22} + \theta_\Delta)} E_s\} \mathbf{i}_y
 \end{aligned}
 \tag{32}$$

\mathbf{i}_x 、 \mathbf{i}_y はそれぞれx軸、y軸方向の単位ベクトルである。

ここで、 E_{out} を受光した電気信号をネットワークアナライザーで測定すると、パワーと群遅延時間が測定される。パワーは群遅延時間は式で表される位相を各周波数で微分した値になるので、パワー T^2 、群遅延時間 τ は以下のようなになる。

【0078】

$\mathbf{i}_x \cdot \mathbf{i}_x = \mathbf{i}_y \cdot \mathbf{i}_y = 1$ 、 $\mathbf{i}_x \cdot \mathbf{i}_y = 0$ より、

【0079】

【数 15】

$$T^2 = T_{11}^2 E_p^2 + T_{12}^2 E_s^2 + T_{21}^2 E_p^2 + T_{22}^2 E_s^2 \\ + 2T_{11}T_{12}E_pE_s \cos(\theta_{11} - \theta_{12} - \theta_\Delta) + 2T_{21}T_{22}E_pE_s \cos(\theta_{21} - \theta_{22} - \theta_\Delta) \quad (33)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left\{ \frac{\text{img}(Te^{j\theta})}{\text{real}(Te^{j\theta})} \right\} \quad (34)$$

$$\text{real}(Te^{j\theta}) = \{T_{11}E_p \cos\theta_{11} + T_{12}E_s \cos(\theta_{12} + \theta_\Delta)\}i_p + \{T_{21}E_p \cos\theta_{21} + T_{22}E_s \cos(\theta_{22} + \theta_\Delta)\}i_s, \\ \text{img}(Te^{j\theta}) = \{T_{11}E_p \sin\theta_{11} + T_{12}E_s \sin(\theta_{12} + \theta_\Delta)\}i_p + \{T_{21}E_p \sin\theta_{21} + T_{22}E_s \sin(\theta_{22} + \theta_\Delta)\}i_s, \quad (35)$$

$$\tau = \frac{d}{d\omega} \theta = \frac{\left\{ \frac{\text{img}(Te^{j\theta})}{\text{real}(Te^{j\theta})} \right\}'}{1 + \left\{ \frac{\text{img}(Te^{j\theta})}{\text{real}(Te^{j\theta})} \right\}^2} = \frac{\text{img}'(Te^{j\theta}) \cdot \text{real}(Te^{j\theta}) - \text{real}'(Te^{j\theta}) \cdot \text{img}(Te^{j\theta})}{\text{real}^2(Te^{j\theta}) + \text{img}^2(Te^{j\theta})} \quad (36) \\ = \frac{\text{img}'(Te^{j\theta}) \cdot \text{real}(Te^{j\theta}) - \text{real}'(Te^{j\theta}) \cdot \text{img}(Te^{j\theta})}{T^2}$$

$$= \frac{\left[\begin{aligned} &T_{11}^2 E_p^2 \theta_{11}' + T_{12}^2 E_s^2 \theta_{12}' + T_{21}^2 E_p^2 \theta_{21}' + T_{22}^2 E_s^2 \theta_{22}' \\ &+ \{(\theta_{11}' + \theta_{12}')T_{11}T_{12} \cos(\theta_{11} - \theta_{12} - \theta_\Delta) + (\theta_{21}' + \theta_{22}')T_{21}T_{22} \cos(\theta_{21} - \theta_{22} - \theta_\Delta)\}E_pE_s \\ &+ \{(T_{11}'T_{12} - T_{11}T_{12}')\sin(\theta_{11} - \theta_{12} - \theta_\Delta) + (T_{21}'T_{22} - T_{21}T_{22}')\sin(\theta_{21} - \theta_{22} - \theta_\Delta)\}E_pE_s \end{aligned} \right]}{T^2} \quad (37)$$

x軸に平行な直線偏波をP波、y軸に平行な直線偏波をS波とするとP波、S波入力時のパワー、群遅延時間特性は以下のように求められる。

【0080】

P波入力の場合は、 $E_p = 1$ 、 $E_s = 0$ 、 $\theta_\Delta = 0$ を式(33)および式(37)に代入すると、式(14)および式(15)を得る。

【0081】

S波入力の場合は、 $E_p = 0$ 、 $E_s = 1$ 、 $\theta_\Delta = 0$ を式(33)および式(37)に代入すると、式(16)および式(17)を得る。

【0082】

[証明終わり]

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施形態にかかる光特性測定装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】

本発明の実施形態にかかる光特性測定装置の動作を示すフローチャートである。

【図 3】

入射光の位相推移相当値および振幅相当値の計測の手順を示すフローチャートである。

【図 4】

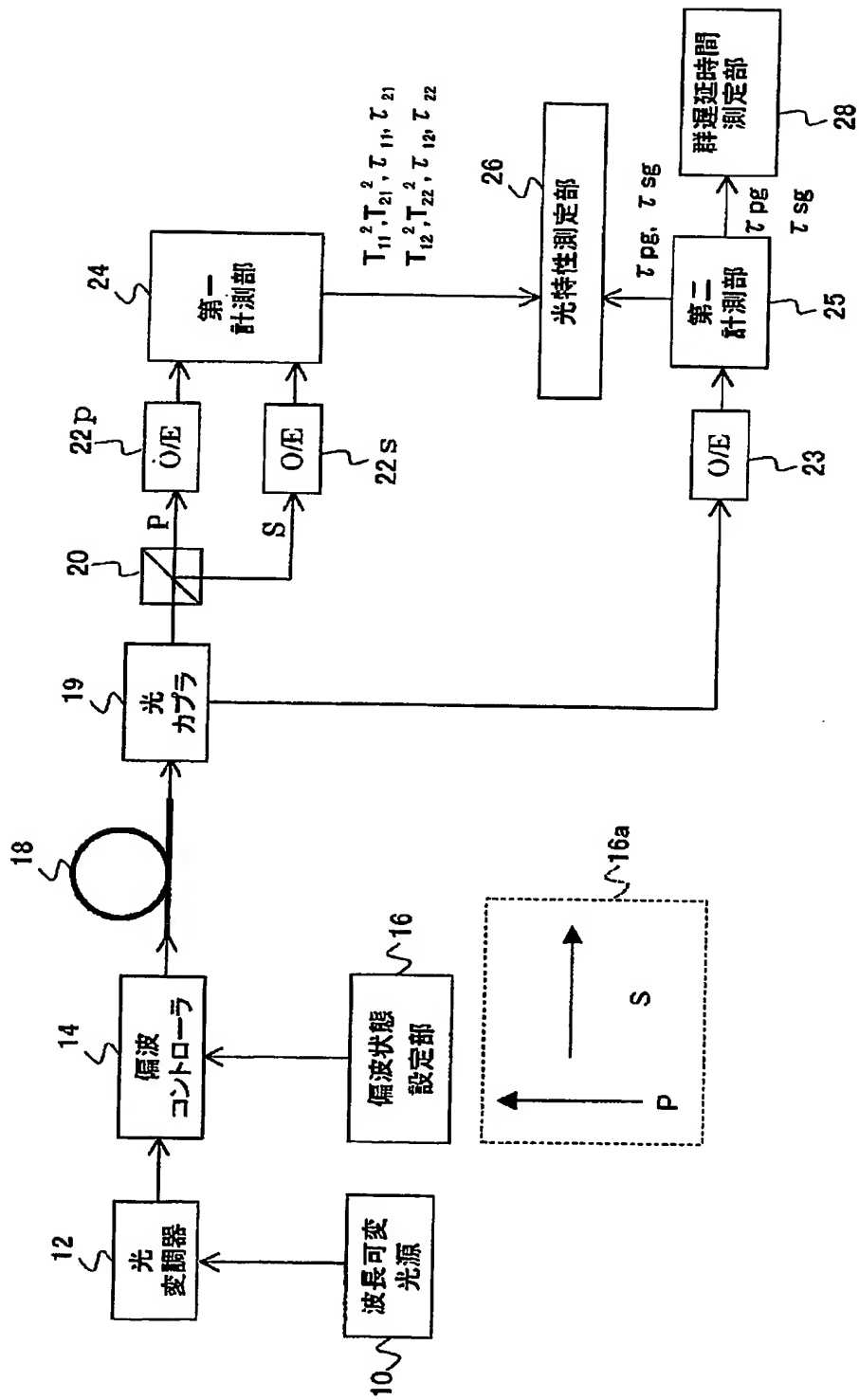
従来技術の特開平 9-264814 号公報に記載の光ファイバの偏波モード分散測定装置の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

- 10 波長可変光源 (光生成手段)
- 12 光変調器
- 14 偏波コントローラ (光入射手段)
- 16 偏波状態設定部
- 16a p 偏光軸および s 偏光軸
- 16b 直交偏光軸
- 18 光ファイバ (DUT: Device Under Test)
- 19 光カップラ
- 20 偏波分離器
- 22 p、s 光電 (O/E) 変換器
- 23 光電 (O/E) 変換器
- 24 第一計測部
- 25 第二計測部
- 26 光特性測定部
- 28 群遅延時間測定部

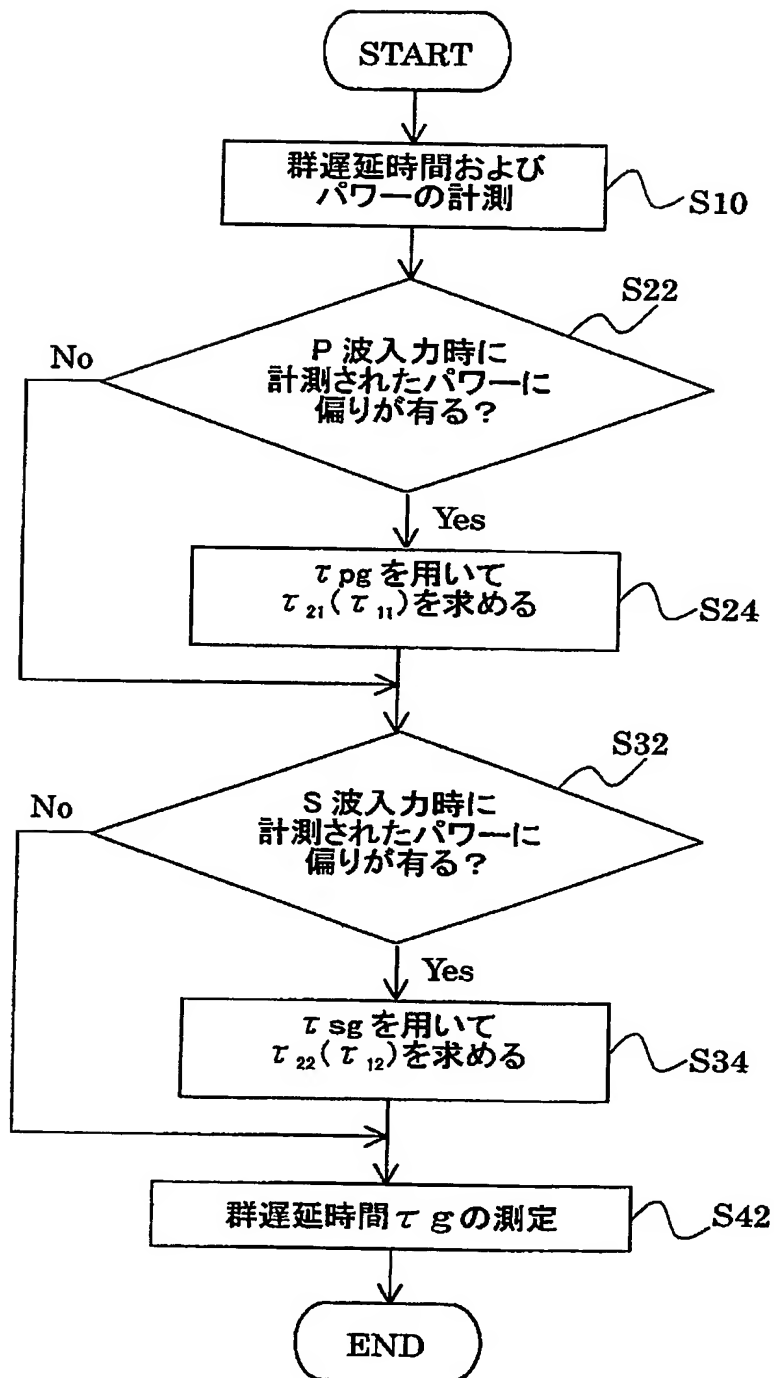
【書類名】 図面

【図 1】

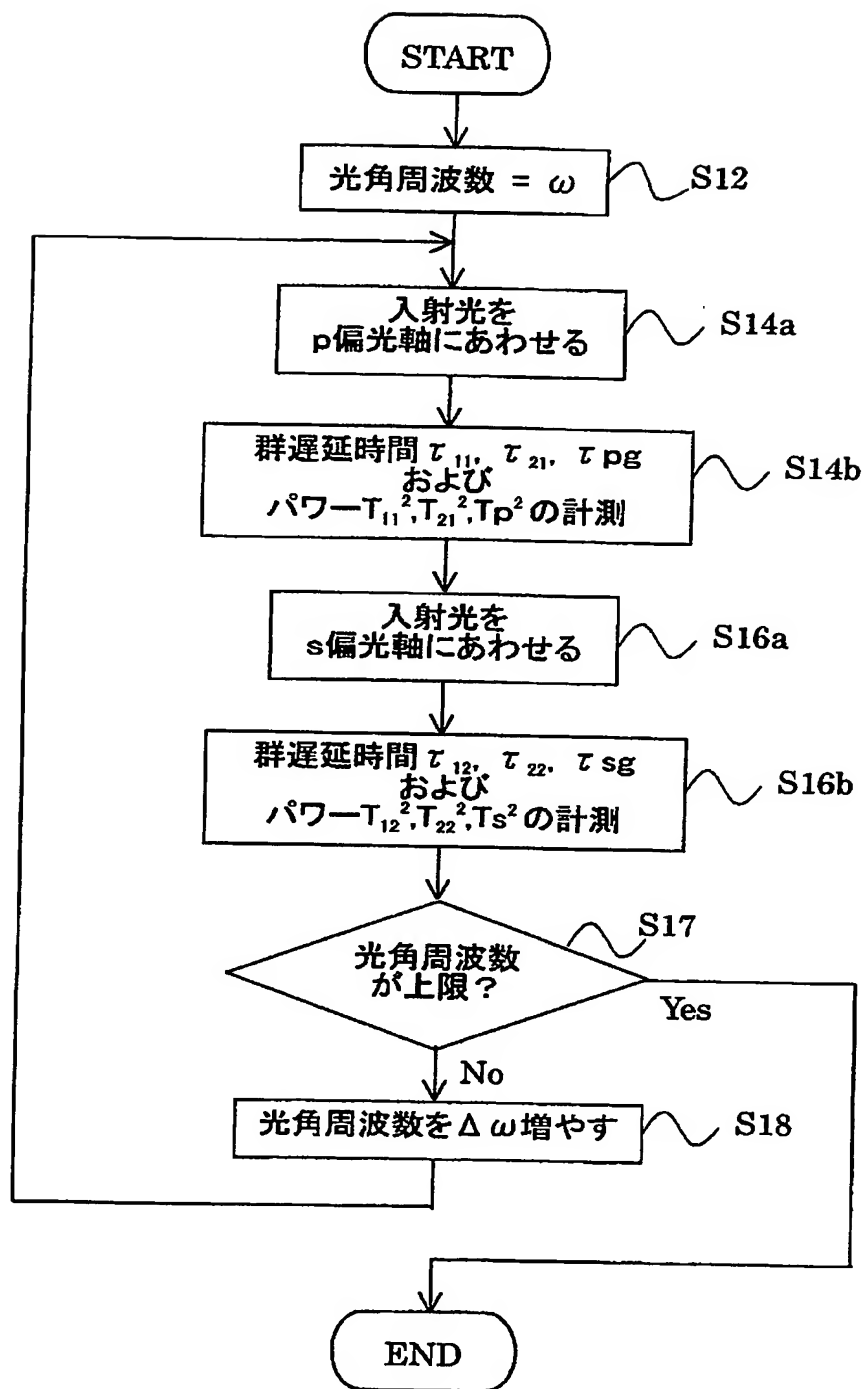





【図 2】

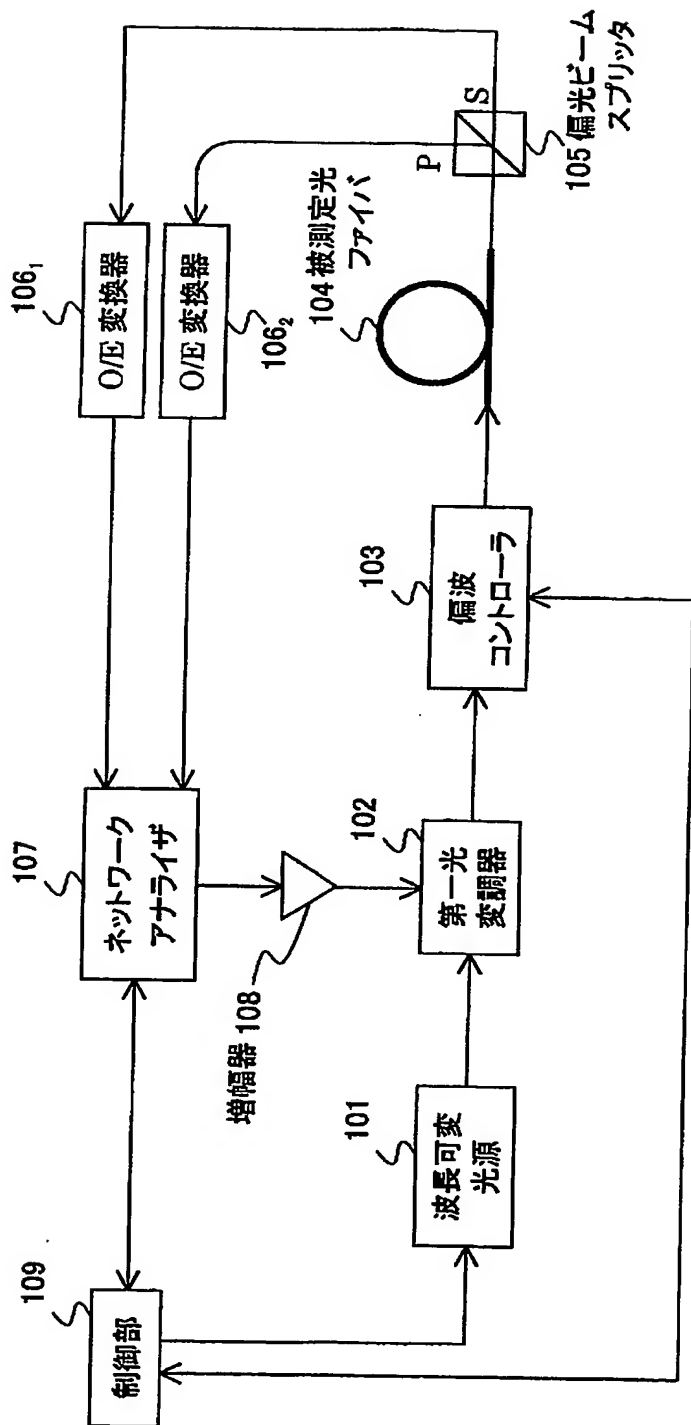


【図 3】





【図 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 偏光成分の偏りによる光特性の測定への悪影響を防止する。

【解決手段】 第二計測部 25 は、光ファイバ 18 から出射された光に基づき入射光の群遅延時間 τ_{pg} 、 τ_{sg} を計測する。第一計測部 24 の振幅相当値（パワー）において p 偏光軸あるいは s 偏光軸に偏りが見られた場合（ $T_{11}^2 \ll T_{21}^2$ 、 $T_{11}^2 \gg T_{21}^2$ 、 $T_{12}^2 \ll T_{22}^2$ 、 $T_{12}^2 \gg T_{22}^2$ ）、光特性測定部 26 は、群遅延時間 τ_{pg} 、 τ_{sg} に光ファイバ 18 の伝達関数の成分に基づく群遅延時間 τ_{11} 、 τ_{21} 、 τ_{12} 、 τ_{22} を測定する。よって、第一計測部 24 の振幅相当値（パワー）において p 偏光軸あるいは s 偏光軸に偏りが見られたとしても、第二計測部 25 の計測結果（パワーの p 偏光軸あるいは s 偏光軸への偏りの影響を受けない）に基づき群遅延時間の測定が行われるので、偏光成分の偏りによる光特性の測定への悪影響が防止できる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 1 1 9 8 6 1

ページ : 1/E

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[3 9 0 0 0 5 1 7 5]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 1 0 月 1 5 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都練馬区旭町1丁目32番1号

氏 名

株式会社アドバンテスト